文　科　系　の　た　め　の　入　門　講　座

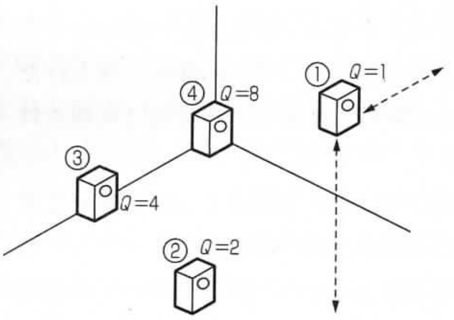
# 「実用音響学」初歩の初歩

加銅鉄平　Kadou Teppei

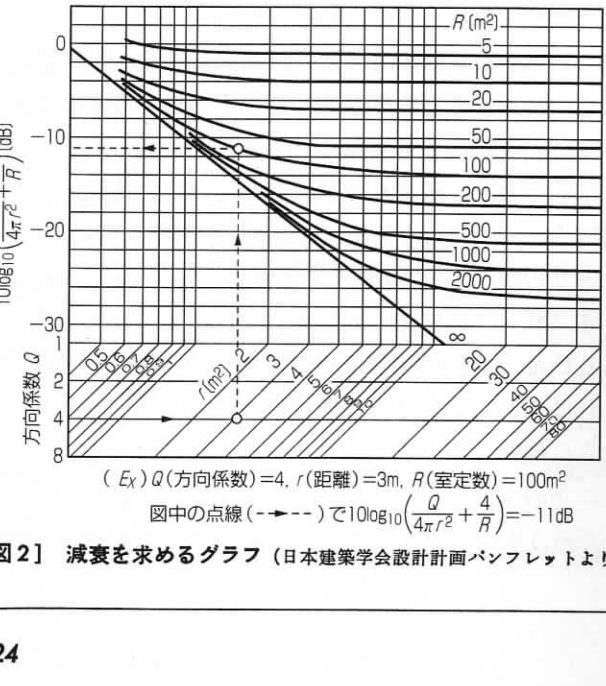
## No. 9　音響パワーの計算法(1)

スピーカーが音を出したら，どの程度の大きさ（音量）で届くものかという話です．

本誌でもときどき「真空管アンプ試聴会」の記事を見かけますが，オーディオファンは意外と楽観的で，100人程度も入りそうな，小さいとはいえそれなりのホールで**2A3**シングルを鳴らしたりしますが，思わず冷汗が出ます．せいぜい3.5W×2程度の出力ですから，よほどスピーカーの効率（電気－音響変換効率）が良くないと音量が不足し，ボリュームを上げるとクリップして波形が潰れると同時に，アンプの面目も潰れるということになります．ではどの程度のアンプが必要なのか，というのがここしばらくのテーマです．




**［図1］**
**音源の指向係数**




( Ex ) Q(方向係数)=4, r(距離)=3m, R(室定数)=100m²
図中の点線（- -►- - -）で$10\log_{10}\left(\frac{Q}{4\pi r^2}+\frac{4}{R}\right)$=−11dB

**［図2］　減衰を求めるグラフ**（日本建築学会設計計画パンフレットより）

### 計算式

さて，音場においてどれだけの音響パワー〔W〕を出せば，$r$〔m〕の場所でどれだけの音圧が得られるか，という計算には便利な計算式があって，通常はこれを使って求めます（この式は「ベラネックの式」と呼ばれて広く使用されているものです）．

$$\mathrm{SPL}=\mathrm{PWL}+10\log\left(\frac{Q}{4\pi r^2}+\frac{4}{R}\right)\ 〔\mathrm{dB}〕\ \cdots\cdots(1)$$

SPL：$r$〔m〕点での音圧レベル〔dB〕
　基準の 0 dB＝20 μPa

PWL：音源の音響パワーレベル〔dB〕
　基準の 0 dB＝$10^{-12}$〔W〕
　（音響パワーはスピーカーによる音響出力でアンプの出力のようなもの．音響パワーレベルはそれをデシベル表示としたもので 1 W＝120 dB となる）

$Q$：音源の指向係数（**図1**）
　（空間の中央①のように置かれて，エネルギーが球状に全方向に出されるときは指向係数$Q$は1．②のように床の上に置かれて放射が半球状だと$Q=2$となる．③は1/4球状で$Q=4$，④は1/8球状になるので$Q=8$）

$r$：音源からの距離〔m〕，$R$：室定数

$R=S\overline{\alpha}/(1-\overline{\alpha})$

$S$：室内の表面積〔m²〕（寸法を測れば計算できる）

$\overline{\alpha}$：室内の平均吸音率
　（残響時間を測定すれば計算または数表で正確に求められるが，大まかな見当として，
　◆教室のように響きのあるライブな部屋 0.25
　◆寝室のように響かないデッドな部屋　0.35
　程度を使用する）

この室定数$R$というのは「その部屋の音の処理能力」とでも認識しておいてください．大きな部屋はそれなりに大きな値となります．

(1)の式の（　）内のうち，左側の $Q/4\pi r^2$ は直接音による音圧，距離の2乗に反比例ようになっています．右側の $4/R$ は間接音による音圧です．

この二つの項の和がその場所の音圧になり，デシベルに直すとその距離における音圧レベルの低下分(距離によってどんどん低下する）を示すということになっています．したがって，ここは常にマイナスになります．

## グラフによる減衰の求め方

**図2**は「室定数$R$と音源の指向係数$Q$が決まれば距離に対応した減衰量が求められます」という便利なグラフです．図中の点線は「$Q=4$，$R=100$ のとき，距離3mならば，減衰は11dBである」と求めた例です．$R$が半端なときは計算が正確ですが，概数ならばこのグラフで簡単に求められます．

**[計算例]**

部屋の中での減衰の程度

◆仮に部屋の大きさを12畳としてみます．
高さ 2.5m，幅 3.62m，長さ 5.43m，床面積 19.66 m² (12畳)，部屋の表面積（$S$） 84.56m²

◆平均吸音率 ($\overline{\alpha}$) は部屋の響きを中程度として $\overline{\alpha}=0.3$ とします．

◆上記の$S$と$\overline{\alpha}$から

$$R=S\overline{\alpha}/(1-\overline{\alpha})=(84.56\times0.3)/(1-0.3)$$
$$=25.37/0.7=36.24$$

すなわち，$R=36.24$ となります．

したがって（　）の中の右の項は

$4/R=4/36.24=0.11$　となります．

次に，スピーカーは壁際に置くとして $Q=2$，距離は3mとすると（　）内の左の項は

$Q/4\pi r^2=2/4\times3.14\times3^2=0.0177$

となりますから，この部屋の中で3m離れるとどれだけ減衰するかがわかります．その減衰の程度は

$10\log(0.11+0.0177)=10\log0.1277=-8.938\mathrm{dB}$

となります．

念のために**図2**で，$Q=2$，$R=36$ あたりと思われる点を探すと，約9dBと見当が付けられます．

## スピーカーから出る音響パワー

今度はスピーカーからどれだけの音響パワーが出るかを計算します．それにはまずスピーカーの「出力音圧レベル」をカタログから調べます．これは「1Wの電気入力で，1m点で得られる音圧レベル」というもので，そのスピーカーの固有の値です．この値が92dB/W/mのとき，変換効率は1％になります．したがって，100Wのアンプをつなぐと，1Wの音響パワーが得られます．

ここの計算式ではこのパワーを音響パワーレベル(PWL）に変換して使用しますので，PWL＝10log(音響出力W/$10^{-12}$W）で求めます．1W＝120dBとなりますから，〈92dBのスピーカーと100Wアンプで PWL は 120dB〉ということになります．

## 2A3シングルを鳴らすと

もし，**2A3**シングルでL，R合計7Wのアンプと92dBのスピーカーの組み合わせとなると，音響パワーは0.07W（＝7/100→−11.55dB）で，PWL＝120−11.55＝108.45dB　となります．この**2A3**シングルをステレオで使用したとすると，3m点では，

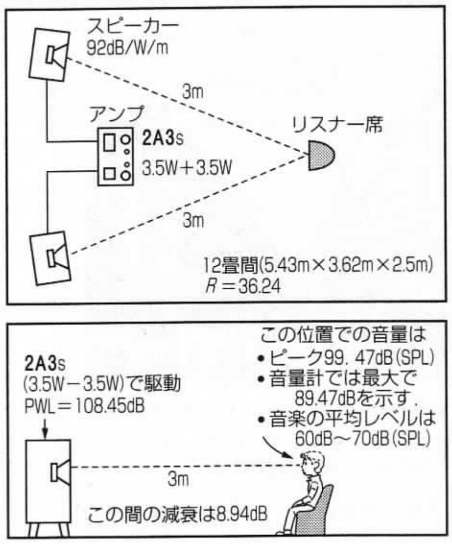
SPL＝108.45−8.938＝99.512〔dB〕

ということになります．

## 音量計の指示，平均レベル

ただし，これはピーク値ですから，音量計（例えば騒音計のC特性あるいは校正した正規のVU計）では約10dB下がった90dBを示します．これは最大に頑張ったときの音量です．

では，音楽の平均レベルはというと，その20dBないし30dB下の約70dBないしは60dBということになります（**図3**）．




**[図3] 2A3シングルを12畳間で鳴らすと**